

Genotipe Jagung Efisien Hara P

Syafruddin

Balai Penelitian Tanaman Serealia, Maros

ABSTRACT

Phosphorus deficiency is one of the most important yield-limiting factor for maize growing in acid soil of tropical regions. The objective of this experiment was to screen maize (*Zea mays* L.) genotypes for P efficiency in culture solution. The experiment was arranged in a split plot design with three replications. The main plots were P fertilization i.e. 0 (without P), 1.4, 5, 10, 15, and 20 ppm of P, and the sub plots were 22 maize genotypes. The results indicated that both of AMATL-(HS)-C2 and BK-(HS1)-C2-55-1 were efficient in P absorption and utilization. BK-(HS1)-C2-113-1, SATP-1-(C2)-C6-S0, Bisma SATP-2-(S2)-C6-S0, and CML364 genotypes were efficient in P utilization. While BK-(HS)-C2-11-1, BK-(HS)-C2-129-1, AMATL-(S1)-C2-43-1, MRSS-1(S1)-C1-57-1 were efficient in P absorption.

Key words: Maize, P-efficiency, P-absorption, P-utilization.

ABSTRAK

Salah satu faktor pembatas hasil tanaman jagung pada lahan masam di daerah tropis adalah defisiensi P. Penelitian ini bertujuan untuk menapis (*screening*) 22 genotipe jagung terhadap efisiensi hara P di larutan hara. Penelitian menggunakan rancangan petak terpisah dengan tiga ulangan. Sebagai petak utama adalah konsentrasi P, yaitu 0, 1, 4, 5, 10, 15, dan 20 ppm P dan sebagai anak petak adalah 22 genotipe jagung. Hasil penelitian menunjukkan genotipe AMATL-(HS)-C2 dan BK-(HS1)-C2-55-1 efisien dalam penggunaan dan serapan P. Genotipe BK-(HS1)-C2-113-1, SATP-1-(C2)-C6-S0, Bisma, SATP-2-(S2)-C6-S0, dan CML364 efisien dalam penggunaan P. Genotipe BK-(HS)-C2-11-1, BK-(HS)-C2-129-1, AMATL-(S1)-C2-43-1, MRSS-1(S1)-C1-57-1 efisien dalam serapan P.

Kata kunci: Jagung, efisiensi P, absorpsi P, penggunaan P.

PENDAHULUAN

Kekahatan P merupakan salah satu faktor pembatas pertumbuhan tanaman jagung yang ditanam di tanah masam daerah tropik basah. Ketersediaan P yang rendah pada tanah masam terutama disebabkan oleh fiksasi Al dan Fe (Sanchez and Salinas 1981; Marschner 1995; Subagyo *et al.*

2000). Adanya fiksasi tersebut di samping menyebabkan berkurangnya ketersediaan hara dalam tanah, juga menyebabkan pemupukan tidak efisien. Ameliorasi kekurangan P pada tanah masam hanya dengan pemberian bahan organik atau kapur. Meskipun ameliorasi memberikan hasil yang tinggi, tetapi diperlukan input yang tinggi sehingga tidak efisien dan kurang menguntungkan, terutama petani yang kekurangan modal. Alternatif untuk mengatasi kendala tersebut adalah penggunaan genotipe yang efisien terhadap hara P, baik dalam penyerapan maupun penggunaan. Dua kemungkinan tanaman efisien terhadap P rendah adalah (1) mampu mengambil hara P lebih banyak pada kondisi pasokan P rendah atau pada fiksasi P tinggi, atau (2) mampu memanfaatkan P yang diserap secara efisien (Polle and Konzak 1990). Genotipe efisien hara P yang diharapkan adalah yang mampu mengambil hara dalam jumlah yang cukup untuk menghasilkan bahan kering yang tetap tinggi meskipun dalam kondisi kekurangan hara P.

Tanaman yang tenggang Al sering diasosiasikan dengan tanaman yang efisien dalam memanfaatkan P dan mampu tumbuh dengan baik pada kondisi kekurangan P di tanah masam (Gupta 1997). Hasil penelitian Baligar *et al.* (1997) terhadap 22 genotipe tanaman jagung yang ditumbuhkan pada media tanah dengan kejenuhan Al 40% menunjukkan genotipe yang tenggang Al efisiensinya terhadap unsur hara berbeda-beda. Hal ini berarti tidak semua genotipe yang tenggang efisien dalam memanfaatkan hara P. Oleh karena itu, untuk mendapatkan genotipe yang efisien memanfaatkan hara P diperlukan pengujian dengan menggunakan genotipe yang telah diketahui ketenggangan terhadap Al.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi pemanfaatan hara P oleh 22 genotipe jagung yang telah diketahui tingkat ketenggangan terhadap Al.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus 2001 di rumah kaca dan Laboratorium Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik Pertanian, Bogor. Percobaan dilakukan dengan cara menumbuhkan tanaman di media air yang mengandung larutan hara.

Bahan tanaman yang digunakan adalah 22 genotipe jagung bersari bebas. Genotipe tersebut telah diuji tingkat ketenggangannya terhadap Al (Syafuddin 2002), yang terdiri atas tiga kelompok. Pertama, genotipe tenggang Al, yaitu Sitiung Aluminium Tolerance Population SATP-1-(C2)-C6-S0, Barambai Komposit BK-(HS1)-C2-11-1, BK-(HS1)-C2-113-1, BK-(HS1)-C2-55-1, Asian Mildew Acid Tolerance Late (AMATL)-(HS)-C2-S0, AMATL-(S1)-C2-43-1, AMATL-(S1)-C3, Maros Sintetis MRSS-1(S1)C1-21-1, MRSS-1(S1)C1-57-1, Antasena, dan Bisma. Kedua Genotipe moderat Al, yaitu (BK)-(HS1)-C2-5-1, MRSS-1(S1)C1-29-1, MRSS-1(S1)C1-123-1, Lokal Koasa, dan Lokal Delima. Ketiga genotipe peka Al, yaitu (SATP)-2(S2)-C6-S0, BK-(HS1)-C2-129-1, (MRSS)-1(S1)C1-20-1, CYMMIT Maize Line (CML)358, CML364, dan CML359.

Larutan hara yang digunakan sesuai dengan yang digunakan oleh Magnavaca (1982), yaitu 141,1 Ca; 20,8 Mg; 152 N-N03; 18,2 NNH4; 91,8 K; 18,8 S; 21,05 Cl; 4,3 Fe; 0,5 Mn; 0,27 B; 0,15 Zn; 0,04 Cu; 0,08 Mo; 0,04 Na masing-masing dalam ppm.

Benih dikedambahkan di media pasir selama enam hari. Kecambah yang seragam ditumbuhkan selama 14 hari pada bak-bak berisi larutan hara dengan volume 1,5 l/tanaman. Setiap dua hari larutan hara diukur volume dan pH-nya. Volume larutan dipertahankan sesuai volume awal dengan menambahkan aquades, sedangkan pH dipertahankan pada angka $6,0 \pm 0,1$ dengan menggunakan larutan NaOH 1 N atau HCl 1 N. Selama pertumbuhan tanaman, media dialiri oksigen menggunakan aeretor.

Percobaan menggunakan rancangan petak terpisah dengan tiga ulangan. Sebagai petak utama adalah enam tingkat pemberian P, yaitu 0, 1, 4, 5, 10, 15, dan 20 ppm P dan sebagai anak petak adalah

22 genotipe jagung, sebagai sumber P adalah KH_2PO_4 .

Efisiensi pemanfaatan hara oleh setiap genotipe dinilai berdasarkan:

a. Efisiensi agronomis (EAGR), yaitu bobot kering maksimal yang dihasilkan oleh hara P maksimal. Bobot kering maksimal diperoleh dengan mengkorelasikan bobot kering biomas aktual dengan konsentrasi P yang digunakan.

b. Efisiensi serapan P (ESP), yaitu jumlah hara P yang diserap tanaman per unit hara P yang ditambahkan.

$\text{ESP} = \text{mg P jaringan} / \text{mg P yang ditambahkan}$.

c. Efisiensi penggunaan P (EPP), yaitu hasil biomas yang dihasilkan per satuan hara P dalam tanaman.

$\text{EPP} = \text{mg bobot kering tanaman} / \text{konsentrasi P jaringan}$

d. Rasio efisiensi P (REP), yaitu perbandingan antara biomas/hasil tanaman dan unit unsur hara P tanaman.

$\text{REP} = \text{mg bobot kering tanaman} / \text{mg P yang diserap}$

Penggolongan genotipe efisien (EAGR ESP, EPP, dan REP) menggunakan kriteria $X_i \geq + SE \times t$ (tabel)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Efisiensi Agronomis

Pemberian P berinteraksi dengan genotipe terhadap bobot kering biomas. Ini berarti bobot kering biomas setiap genotipe jagung bervariasi antar setiap konsentrasi P. Interaksi P dengan genotipe terhadap bobot kering biomas bersifat kuadratik. Sifat kuadratik dari hubungan antara konsentrasi P dengan bobot kering biomas masing-masing genotipe disajikan pada Tabel 1.

Sebanyak delapan genotipe yang mempunyai bobot kering biomas 1823,7-2258,7 mg/tanaman, nyata lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata genotipe (1603,9 mg/tanaman). Genotipe tersebut adalah SATP-2(S2)-C6-S0, SATP-1(S2)-C6-S0, BK-(HS)-C2-113-1, BK-(HS)-C2-55-1, AMATL-(HS)-C2, AMATL-(S1)-C2-43-1, CML364, dan Bisma. Genotipe-genotipe ini juga mempunyai nilai efisiensi agronomis antara 152,9-200,7%, nyata le-

Tabel 1. Model matematik (Y) persamaan hubungan antara P dengan bobot kering biomas, bobot kering biomas maksimal dugaan, dan nilai efisiensi agronomik (EAGR) dari masing-masing genotipe jagung. Bogor, 2001.

No.	Genotipe	Y = a + bx + cx ²				P maksimal (ppm)	Bobot kering biomas (g/tanaman)	EAGR
		R ²	a	b	c			
Tenggang Al								
1.	SATP-1(S2)-C6-SO	0,87	1117,8	155,2	-7,1	10,9	1965,9*	179,9*
2.	BK-(HS)-C2-1 1-1	0,82	880,0	131,8	-5,4	12,2	1684,2	138,0
3.	BK-(HS)-C2-113-1	0,98	862,2	221,8	-9,9	11,2	2104,5*	187,9*
4.	BK-(HS)-C2-55-1	0,54	1052,2	160,0	-7,2	11,1	1941,1*	174,7*
5.	AMATL-(HS)-C2	0,72	1055,9	184,7	-8,3	11,1	2083,4*	187,2*
6.	AMATL-(S1)-C2-43-1	0,94	916,3	159,4	-7,0	11,4	1823,7*	160,2*
7.	AMATL-(S1)-C3	0,91	86,6	128,8	4,8	13,4	950,6	70,8
8.	MRSS-1(S1)-C1-21-1	0,78	1106,5	47,9	-1,2	20,0	1584,5	79,4
9.	MRSS-1(S1)-C1-57-1	0,74	893,8	142,4	-6,7	10,6	1650,4	155,3*
10.	Antasena	0,95	746,8	87,3	-3,5	12,5	1291,2	103,5
11.	Bisma	0,77	997,5	162,3	-7,4	11,0	1887,4*	172, 1
Moderat Al								
12.	BK-(HS)-C2-5-1	0,75	978,6	80,3	-2,5	16,1	1623,4	101,2
13.	MRSS-1(S1)-C1-29-1	0,78	803,7	113,0	-4,9	11,5	1455,2	126,2
14.	MRSS-1(S1)-C1-123-1	0,77	875,7	119,8	-5,6	10,7	1516,4	141,8
15.	Lokal Koasa	0,51	816,9	75,4	-4,1	9,2	1163,7	126,5
16.	Lokal Delima	0,59	853,0	103,4	-5,1	10,1	1377,1	135,8
Peka Al								
17.	SA'TP-2(S2)-C6-SO	0,81	789,5	261,1	-11,6	11,2	2258,7*	200,7*
18.	BK-(HS)-C2-129-1	0,60	992,6	105,4	-4,1	12,8	1669,9	129,9
19.	MRSS-1(S1)-C1-20-1	0,18	1114,0	36,3	-1,6	11,3	1319,9	116,3
20.	CML358	0,46	539,4	63,9	-2,7	11,8	917,5	77,5
21.	CML364	0,79	1177,5	117,5	-4,7	2,5	1911,9*	152,9*
22.	CML359	0,17	1011,3	24,7	-1,1	11,2	1149,9	102,4
Rata-rata						12,0	1603,9	137,3

*Nyata lebih tinggi dibanding rata-rata menurut uji t taraf 0,95.

bih tinggi dibandingkan dengan rata-rata genotipe (137,3%).

Efisiensi Serapan, Penggunaan, dan Rasio Efisiensi P

Tanaman tenggang Al dan efisien menyerap P adalah yang mampu mengambil P lebih banyak dalam kondisi suplai P rendah (Polle and Konzak 1990). Efisiensi hara P tanaman ditunjukkan oleh tingginya bobot kering yang dihasilkan dalam kondisi P rendah (Rao *et al.* 1999). Dalam penelitian ini, hubungan antara konsentrasi P dengan bobot kering biomas tanaman bersifat kuadratik dengan model matematik: $Y = 0,9328 + 0,1175X - 0,005 X^2$ ($R^2 = 0,62^*$). Menurut Marschner (1995), pertumbuhan optimal tanaman adalah pada kandungan hara antara tingkat kritikal defisiensi dengan kritikal toksisitas. Titik kritikal defisiensi adalah 90-95% dari pertumbuhan maksimal (bobot kering biomas

maksimal). Berdasarkan kriteria ini, maka titik kritis defisiensi P adalah pada 6,0 ppm P. Tingkat kritis ini mendekati yang dilaporkan oleh Robert *et al.* (2000), yaitu pada konsentrasi 5,0 ppm P. Oleh karena itu, analisis kadar P pada perlakuan 5 ppm dinilai sebagai suplai P yang rendah dan digunakan untuk menentukan efisiensi P (serapan, penggunaan, dan rasio efisiensi).

Genotipe tenggang Al belum tentu efisien menyerap hara P. Sebaliknya, genotipe peka Al juga belum tentu tidak efisien menyerap P. Sebelas dari 12 genotipe tenggang Al efisien terhadap P, yaitu SATP-1(S2)-C6-SO, BK-(HS)-C2-11-1, BK-(HS)-C2-113-1, BK-(HS)-C2-55-1, AMATL-(HS)-C2, AMATL(S1)-C2-43-1, AMATL-(S1)-C3, MRSS-1(S1)-C1-21-1, MRSS-1(S1)-C1-57-1, MRSS(S1)-C1-57-1, dan Bisma. Dari lima genotipe yang moderat Al, hanya Lokal Delima yang efisien P. Enam genotipe yang peka terhadap Al namun

efisien menyerap P adalah SATP-2(S2)-C6-S0, BK-(HS)-C2-129-1, dan CML364. Genotipe lainnya tidak efisien menyerap P (Tabel 2).

Baligar *et al.* (1989) dan Baligar *et al.* (1997) melaporkan bahwa genotipe jagung dan sorgum yang tenggang Al tidak selalu efisien dalam menggunakan hara P. Sebaliknya, Robert *et al.* (2000) melaporkan bahwa di antara genotipe jagung yang efisien P ada yang peka Al sementara yang tidak efisien P ada yang tenggang Al.

Dua genotipe mempunyai efisiensi hara P yang sangat baik, karena mampu mengambil hara lebih banyak dan membentuk bahan kering lebih banyak dalam kondisi ketersediaan hara P yang rendah. Genotipe AMATL-(HS)-C2 efisien hara P, baik dalam hal serapan, penggunaan, maupun rasio efisiensi. Genotipe BK-(HS)-C2-55-1 efisien dalam serapan dan penggunaan hara P (Tabel 1 dan 2).

Genotipe SATP-2(S2)-C6-S0, SATP-1(S2)-C6-S0, BK-(HS)-C2-113-1, CML364, dan Bisma

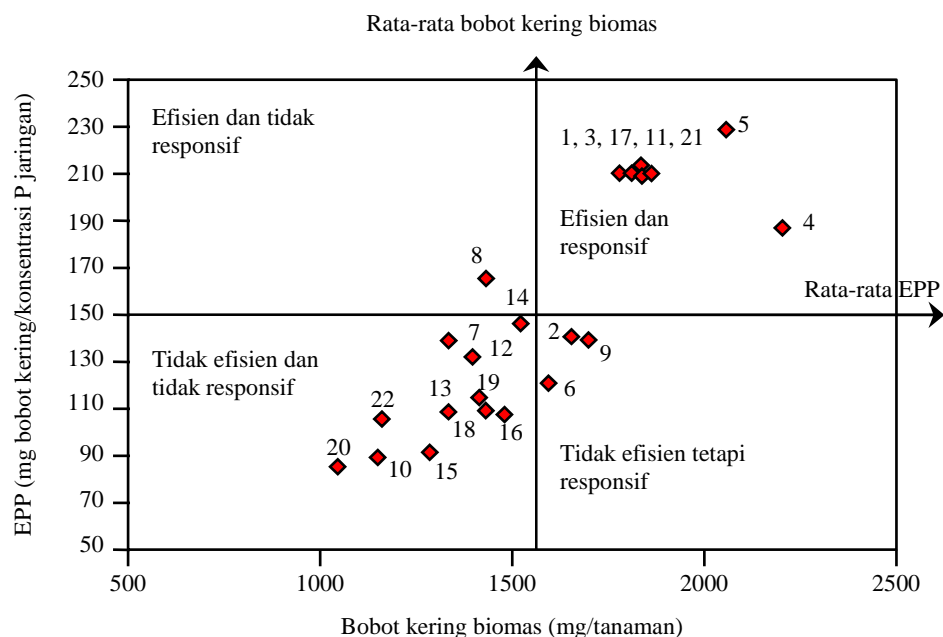
efisien dalam penggunaan P dengan rasio efisiensi yang tinggi, sehingga mampu menggunakan hara dengan baik dan membentuk bahan kering dalam jumlah banyak jika tersedia cukup hara untuk diserap. Genotipe AMATL-(S1)-C3 dan MRSS-1(S1)-C1-21-1 efisien menyerap P ditinjau dari rasio efisiensi. Genotipe lainnya seperti BK-(HS)-C2-11-1, BK-(HS)-C2-129-1, AMATL-(S1)-C2-43-1, dan MRSS-1(S1)-C1-57-1 hanya efisien dalam serapan P. Dengan demikian, genotipe tersebut mampu mengambil hara dengan baik meskipun dalam kondisi ketersediaan hara rendah, akan tetapi tidak dapat membentuk bahan kering dalam jumlah banyak (Tabel 1 dan 2).

Berdasarkan efisiensi penggunaan P (EPP) dan bobot kering biomas pada keadaan P rendah (5 ppm P), genotipe yang diuji dapat digolongkan ke dalam empat kelompok (Gambar 1). Keempat kelompok tersebut menurut metode Fageria dan Baligar (1997), adalah:

Tabel 2. Efisiensi serapan P (ESP), efisiensi penggunaan P (EPP), dan rasio efisiensi P (REP) pada perlakuan 5 ppm P dari masing-masing genotipe jagung. Bogor, 2001.

No.	Genotipe	ESP	EPP	REP
Tenggang Al				
1.	SATP-1(S2)-C6-S0	0,022	210,3*	11,34*
2.	BK-(HS)-C2-11-1	0,026*	141,3	8,51
3.	BK-(HS)-C2-113-1	0,021	213,6*	11,69*
4.	BK-(HS)-C2-55-1	0,034*	187,0*	8,51
5.	AMATL-(HS)-C2	0,025*	229,0*	11,14*
6.	AMATL-(S1)-C2-43-1	0,028*	121,7	7,62
7.	AMATL-(S1)-C3	0,017	139,4	10,35*
8.	MRSS-1(S1)-C1-21-1	0,017	166,2	11,54*
9.	MRSS-1(S1)-C1-57-1	0,028*	139,6	8,22
10.	Antasena	0,020	90,0	7,69
11.	Bisma	0,020	210,0*	11,79*
Moderat Al				
12.	BK-(HS)-C2-5-1	0,020	132,6	9,39
13.	MRSS-1(S1)-C1-29-1	0,022	109,1	8,07
14.	MRSS-1(S1)-C1-123-1	0,021	149,5	9,70
15.	Lokal Koasa	0,024	92,2	7,11
16.	Lokal Delima	0,027*	108,5	7,27
Peka Al				
17.	SATP-2(S2)-C6-S0	0,021	210,9*	11,69*
18.	BK-(HS)-C2-129-1	0,025*	110,3	7,65
19.	MRSS-1(S1)-C1-20-1	0,024	115,0	8,07
20.	CML358	0,017	87,2	8,17
21.	CML364	0,021	209,6*	11,43*
22.	CML359	0,017	106,8	9,07
Rata-rata		0,023	149,1	9,36

*Nyata lebih tinggi dibanding rata-rata menurut uji t taraf 0,05.



Gambar 1. Pengelompokan 22 genotipe jagung berdasarkan efisiensi penggunaan P (urutan nomor sesuai dengan urutan genotipe pada Tabel 1 dan 2).

1. Genotipe yang efisien dan responsif terhadap P, yaitu genotipe yang mempunyai bobot kering biomasa yang lebih tinggi dibanding rata-rata bobot kering seluruh genotipe dan mempunyai EPP lebih tinggi dibanding rata-rata seluruh genotipe. Genotipe tersebut adalah AMATL-(HS)-C2, BK-(HS1)-C2-113-1, SATP-1-(C2)-C6-S0, BK-(HS1)-C2-55-1, dan Bisma yang tenggang Al, serta SATP-2-(S2)-C6-S0, dan CML364 yang peka Al.
2. Genotipe yang efisien dan tidak responsif terhadap P, yaitu genotipe yang mempunyai bobot kering biomasa yang lebih rendah dibanding rata-rata bobot kering seluruh genotipe, tetapi mempunyai EPP lebih tinggi dibanding rata-rata seluruh genotipe. Genotipe yang masuk dalam kelompok ini adalah MRSS-1(S1)C1-21-1 (tenggang Al).
3. Genotipe yang tidak efisien dan responsif terhadap P, yaitu genotipe yang mempunyai bobot kering biomasa yang lebih tinggi dibanding rata-rata bobot kering seluruh genotipe, tetapi mempunyai EPP lebih rendah dibanding rata-rata seluruh genotipe. Genotipe BK-(HS1)-C2-11-1, AMATL-(S1)-C2-43-1, dan MRSS-1(S1)C1-57-1 (tenggang Al).
4. Genotipe yang tidak efisien dan tidak responsif terhadap P, yaitu genotipe yang mempunyai bobot kering biomasa yang lebih rendah dibanding rata-rata bobot kering seluruh genotipe dan mempunyai EPP lebih rendah dibanding rata-rata seluruh genotipe. Genotipe yang tergolong ke dalam kelompok ini adalah AMATL-(S1)-C3, Antasena (tenggang Al), BK-(HS1)-C2-5-1, MRSS-1(S1)C1-29-1, MRSS-1(S1)C1-123-1, dan Lokal Koasa (Moderat Al), BK-(HS1)-C2-129-1, MRSS-1(S1)C1-20-1, CML358, CML359, dan Lokal Delima (peka Al).

Genotipe yang baik adalah genotipe yang responsif terhadap P dan efisien menggunakannya, yaitu AMATL-(HS)-C2, SATP-1-(C2)-C6-S0, BK-(HS1)-C2-113-1, BK-(HS1)-C2-55-1, dan Bisma pada kelompok tenggang Al, dan SATP-2-(S2)-C6-S0, dan CML364 pada kelompok peka Al. Genotipe AMATL-(HS)-C2 dan BK-(HS1)-C2-55-1 dapat dikembangkan pada tanah yang kekurangan P, terutama pada tanah masam. Kedua genotipe tersebut selain efisien dalam penggunaan P juga efisien dalam serapan P serta mampu membentuk bahan kering dalam jumlah yang banyak pada keadaan tanah kekurangan P. Genotipe BK-(HS1)-C2-113-1, SATP-1-(C2)-C6-S0, Bisma SATP-2-(S2)-C6-S0,

dan CML364 hanya efisien dalam penggunaan dan rasio efisiensi P, tetapi tidak efisien dalam penyerapan P, karena itu lebih cocok dikembangkan pada tanah yang memiliki cukup P.

KESIMPULAN

1. Efisiensi genotipe jagung terhadap hara P tidak berasosiasi dengan ketenggangan tanaman terhadap Al. Genotipe jagung tenggang Al belum tentu efisien terhadap P, sebaliknya genotipe peka Al belum tentu tidak efisien terhadap P.
2. Genotipe AMATL-(HS)-C2 dan BK-(HS1)-C2-55-1 adalah genotipe yang dapat dikembangkan pada tanah yang kekurangan P, terutama pada tanah masam. Kedua genotipe ini tenggang Al dan efisien dalam penggunaan dan serapan P serta mampu membentuk bahan kering dalam jumlah banyak pada tanah dalam kondisi kekurangan P.
3. Genotipe BK-(HS1)-C2-113-1, SATP-1-(C2)-C6-S0, dan Bisma yang tenggang Al, serta SATP-2-(S2)-C6-S0, dan CML364 yang peka Al hanya efisien dalam penggunaan P dan rasio efisiensi cukup tinggi, karena itu lebih cocok dikembangkan jika P cukup tersedia di tanah.
4. Genotipe BK-(HS)-C2-11-1, BK-(HS)-C2-129-1, AMATL-(S1)-C2-43-1, MRSS-1(S1)-C1-57-1 efisien dalam serapan P, tetapi tidak mampu membentuk bahan kering dalam jumlah banyak.

DAFTAR PUSTAKA

- Baligar, V.C, H.L. Dos Santos, G.V.E Pitta, E.C. Filho, C.A. Vasconcellos, and A.F. deC. Bahia Filho. 1989. Aluminum effects on growth, grain yield and nutrient use efficiency ratios in sorghum genotypes. *Plant and Soil* 116:257-264.
- Baligar, V.C, G.V.E. Pitta, E.E.G. Gama, R.E. Schaffert, E.C. Filho, C.A. Vasconcellos, A.F. deC. Bahia Filho, and R.B. Clark. 1997. Soil acidity effect on nutrient use efficiency in exotic maize genotypes. *Plant and Soil* 192:9-13.
- Fageria, N.K. and V.C. Baligar. 1997. Phosphorus-use efficiency by corn genotypes. *Journal of Plant Nutrient* 20:1267-1277.
- Gupta, U.S. 1997. Crop Improvement stress tolerance. Science. Publisher. New Hampshire. p. 34-5159.
- Magnavaca, R. 1982. Genetic variability and the inheritance of aluminum tolerance in maize (*Zea mays* L.). Ph. Diss. Univ. of Nebraska. Lincoln.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. London. p. 596-680.
- Polle, E.A. and C.F. Konzak. 1990. Genetics and breeding of cereals for acid soils and nutrient efficiency. In Baligar VC and R.R. Duncan (Eds.). Crop as Enhancers of Nutrient Use. Academic Press. San Diego. p. 81-131.
- Rao, I.M, D.K. Friesen, and M. Osaki. 1999. Plant adaptation to phosphorous-limited tropical soil. In Pessarakli, M. (Eds.). Handbook of Plant and Crop Stress. New York. Marcel Dekker. p. 61-81.
- Robert, E.S., V.M.C. Alves, S.N. Parentoni, dan K.G. Raghothama. 2000. Genetic control of phosphorus uptake and utilization efficiency in maize and sorghum under marginal soil conditions. Workshop on Molecular Approaches for the Genetic Improvement of Cereals for Stable Production in Water-Limited Environment. <http://www.google> (April 2002).
- Sanchez, P.A. and J.G. Salinas. 1981. Low input technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical America. *Advance in Agriculture* 34:280-399.
- Subagyo, H, N. Saharta, dan A.B. Siswanto. 2000. Tanah-tanah pertanian di Indonesia. Dalam Sumber Daya Lahan Indonesia dan Pengelolaannya. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Badan Litbang Pertanian. Bogor. hlm. 21-65.
- Syafruddin. 2002. Fisiologi hara fosfor pada tanaman jagung (*Zea mays* L.) dalam kondisi cekaman aluminium. Tesis Pascasarjana IPB. Bogor.